

自動化用精密測定機器

大阪大学工学部 築 添 正

1. はじめに

機械工業における生産の自動化 (mechanical automation) の必要性は最近急速に増大し、大企業のみならず中小企業においても自動化のための投資が大いに促進されている現状である。

ところで自動化の予備段階として、操作の

手動→機械化→動力化

の過程がまず考えられるが、この操作の動力化は

計測

制御

というフィードバックの導入により一応の自動化の段階に達する。

すなわち生産の自動化には計測は不可欠のものであって、これには次のようなものがある。

寸法測定 (精密測定)

計 量 (秤 量)

温度測定

流量測定

液位測定

圧力測定

その他種々の測定

しかもこれらの計測は当然いずれの場合も「計測の自動化」が要求される。すなわち計測の自動化は、生産の自動化に付随して要求される問題であるが、このほか計測作業の高速化、計測作業の性質上、人件費節約上などのため要求される場合も考えられる。

ここでは以下、主として生産の自動化のための精密測定機器に限定して述べることにする。

2. 自動選別と自動定寸

生産の自動化のための精密測定において、測定作業の自動化の段階は次の1)~5)の順序に考えることができる。

1) 自動検査 (automatic gauging)

自動測定を行ない

測定結果の表示 (シグナルまたはブザー) (後出図3) あるいは

さらに記録 (記録装置) を行なう。

2) 自動棄却分離 (automatic gauging and segregating)

自動測定にもとづいて

棄却分離 (OKと+と-に分離) を行なう。

(後出図6)

3) 自動選別 (automatic gauging and classifying)

自動測定にもとづいてさらに

自動選別 (多数の級と+と-とに分離) を行なう。(後出図11)

4) 加工中の自動定寸 (gauging control in-process または on the machine) (図1)

加工中の工作物寸法の刻々の

自動測定にもとづいて

必要な指示 (速度、位置、方向の変更) を加工機械に与える。

5) フィードバック方式による自動定寸 (gauging control post-process または after the machine)

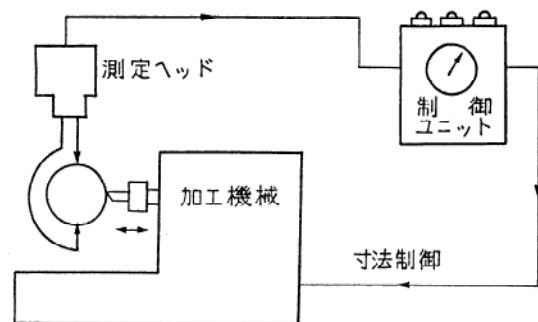


図1 自動定寸 in-process

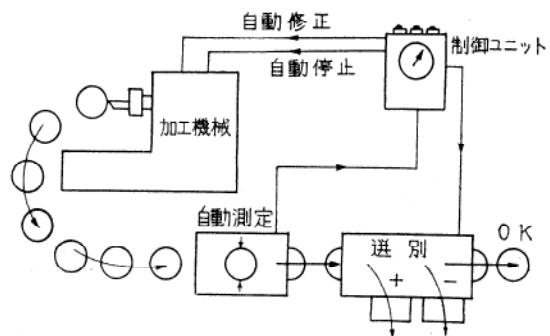


図2 自動定寸 post-process

)(図2)

加工直後の工作寸法の

自動測定にもとづいて

必要な指示(修正動作)を加工機械に与える。

上述の自動選別ならびに自動定寸をさらに進めたものとして次のようなものがある。

測定結果の自動刻印

測定結果による自動選択組合せ

自動選択組合せ組立て (automatic assembling machine) (後出図19)

自動定寸と自動選別の結合 (後出図13, 18)

自動工作機械と自動組立機との結合

自動測定結果の計算の自動化 (たとえば二つの測定値の差の計算) (後出図16, 19)

測定のデジタル化 (たとえば位置のデジタル測定)

以上は自動化の段階の観点から一応序列をつけて列挙したものであるが、現実には後出の図13, 図18などにもみられるように、自動定寸装置により多量生産されたものを自動選別機により部品の層別化を行なう場合が多い。すなわち最近、機器に要求される機能がきびしくなってきたため、相当きつい部品公差が要求されるようになった。工作機械の精度が次第に向上しているとは言え、このきつい公差の部品を経済的に多量生産することは困難で、したがって工作は工作機械の精度でがまんしておき、ある公差内にできた製品を自動選別機でさらに細かい公差に層別し選択組合せを行なうことにより要求される機能を満たそうとするものである。

3. 自動測定機器

自動選別ならびに自動定寸のための自動測定機器としては次の諸条件を満たす必要がある。

- i) 精度 (ただ1回の測定により判断を下さねばならぬから)
- ii) 安定性 (長時間の連続測定における指示の安定さ)
- iii) 迅速
- vi) 耐久性 (振動, じんあい, 変温下の測定であることが多いから)

これらの必要条件を満たす自動測定機器として最近広く用いられるものを大別すると次の三つがある。

- 1) 機械的計測機器 (接点付ダイヤルゲージなど)
- 2) 空気式計測機器 (接点付空気マイクロメータなど)
- 3) 電磁氣的計測機器 (接点付電気マイクロメータなど)

4. 機械的自動測定機器

機械的計測を行なうものの一例として Federal 社の

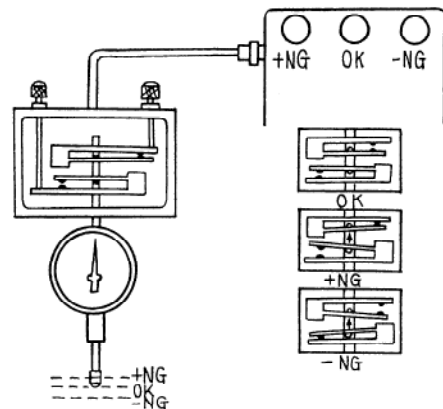


図3 接点付ダイヤルゲージ

Electricator (接点付ダイヤルゲージ) がある。これには2-limits と4-limits があるが、図3は前者の作動原理を示す。これにより図にみられるように過大(手直し), 合格, 過小(廃棄)の三つの級に選別することができる。

この接点付ダイヤルゲージを単独に用いるときは測定精度は 5μ 程度であるが、後述のように、(図5, 図7) 空気マイクロメータと併用することにより精度を 0.5μ 程度まであげることができる。

これと同様のものに図4の Carl Mahr 社製選別用測定ヘッドがある。これにより図のように過小, 合格5段階, 過大の七つの級に分けることができる。

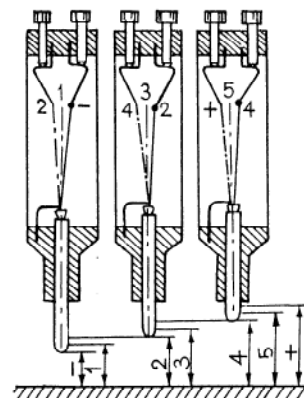


図4 選別用測定ヘッド
(Carl Mahr社)

5. 空気式自動測定機器

空気マイクロメータによる自動測定器の一例を図5に示す。この例では、空気マイクロメータとして複回路差圧式を用いることにより、初圧変動の影響を無くして感度を高め指示の安定化を図っている。この空気圧の変化を圧力差圧計の変位に換え、これにより電気接点のON-OFFを行なっている。図6はこの測定器を応用した自動選別機の一例を示す。

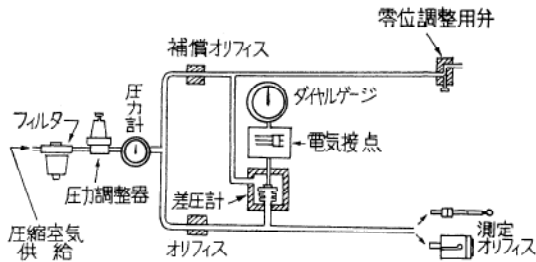


図5 複回路差圧式空気マイクロメータ
(接点付)

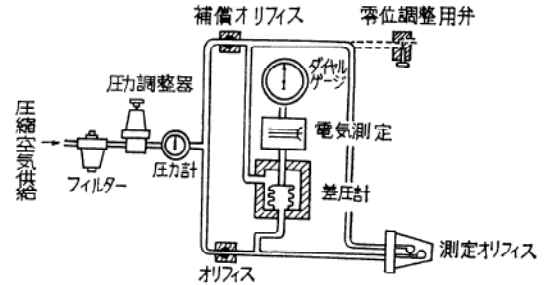


図7 差圧式空気マイクロメータによるテーパ、平行度の測定

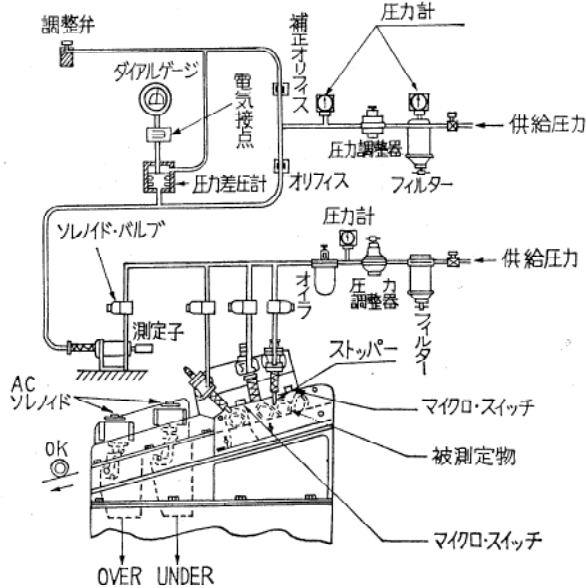


図6 ベアリング内輪内径
自動選別機の測定原理

図6の例からもわかるように自動測定機器は、次の諸動作のサイクルを自動的に繰返す装置である。

被測定物の送り（自動供給装置）

被測定物の固定（測定位置における固定）

計測

測定結果の表示または記録

被測定物の送り出し、さらには自動選別

したがって自動選別ならびに自動寸量など自動化用精密測定機器を問題にする場合、工作機械、精密測定機器の知識を必要とすることはもちろんであるが、さらに電子技術とくに ON-OFF を含めた sequence 制御に関する知識を必要とする。

差圧式空気マイクロメータを利用することにより、図7のように穴の平行度あるいはテーパの測定を行なうこともできる。

以上の方法は前述のように測定精度は 0.5μ 程度までであるが、電気接点の代りに差動変圧器形電気マイクロメータを用いることにより、測定精度を 0.2μ まであげることができる。東京精密の空気電気マイクロメータま

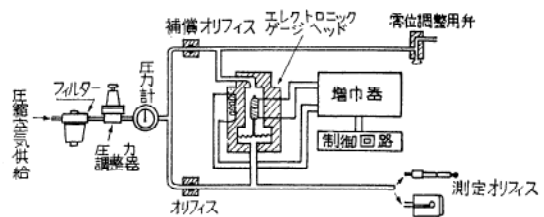


図8 Air-Electronic Transducer の作動原理

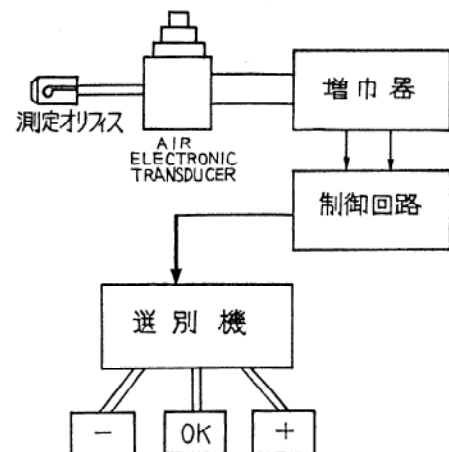


図9 Air-Electronic Transducer と自動選別機

たは Federal 社の Air-Electronic Transducer はこの例であって、その作動原理を図8に示す。またこれを自動選別機に応用した場合のブロック線図を図9に示す。すなわち前出の図5の例では三つの級の選別に応用されるのに対し、図8の例では精度が高くなると同時に22の級までの選別が可能である。（図10参照）

以上空気マイクロメータを自動測定に用いた場合、特に有利な点を列挙すると次のようである。

- i) 無接触測定である。
- ii) じんあいなどを吹き飛ばして測定できる。
- iii) 穴径の測定に便利である。
- iv) 表面あらさの平均値の位置で、寸法測定を行なう。
- v) エレクトリックシステムを加工機械から離れた場所に置くことができる。

6. 電磁氣的自動測定機器

差動変圧器を用いた電気マイクロメータの一例を図10に示す。またこれを応用した自動選別機を図11に示す。図10には **make** 接点を2個書いてあるが、これを多くし

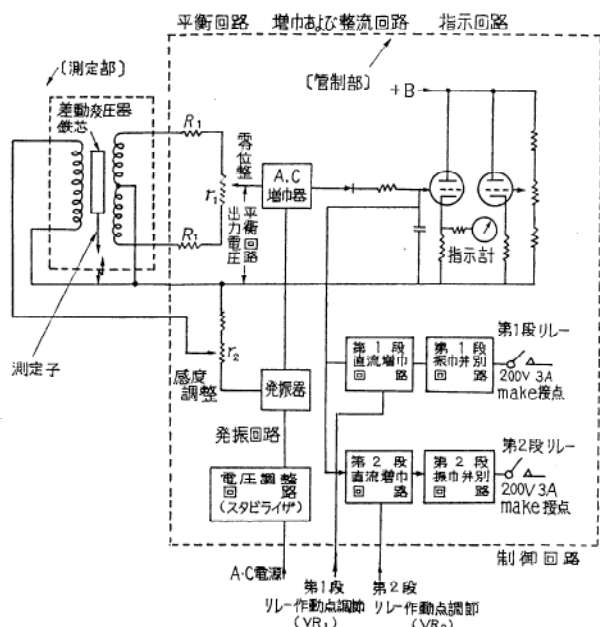


図10 差動変圧器を用いた電気マイクロメータ

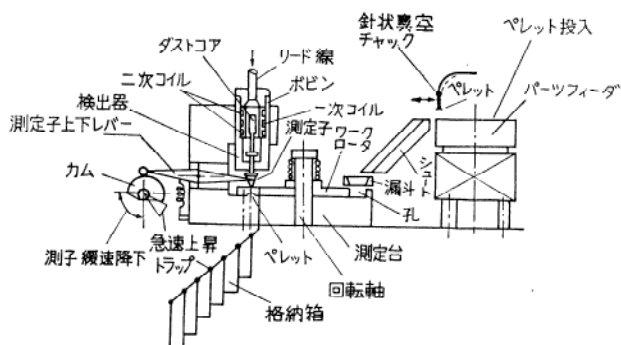


図11 ゲルマニウムペレット厚さ自動選別機

ペレット 1～2 mm角，40～200 μ 厚さ

厚さ公差 $\pm 1.5 \mu$

測定精度 1 μ

測定速度 1.2秒／個

測定圧 20 g

級 合格7，不合格2，再検1の計10級

て多数の級別に自動選別ができる。

電気マイクロメータによるときには次のような特徴がある。

- i) 前述のようにパルス点を多くして多数の級に選別することができる。
- ii) 測定速度を早くすることができる（2個/秒の実

例がある)

- iii) 高精度が得やすい。
- iv) 経済的で応用範囲も広がる。
- v) エレクトリックシステムを加工機械から離れた場所に置くことができる。

7. 自動定寸裝置

従来からある自動定寸装置として、たとえば Churchill 社の工具位置による自動定寸（ドレッサでと石の形直しを行ない、その量だけ送り込みが修正される）、Heald 社のゲージによる自動定寸（ゲージが入れば仕上り）などがある。さらに進んだものとして、2 項において述べたように in-process のものと post-process のものとが考えられる。

in-process (on the machine) :

図12に一例を示すように、加工中の工作物の寸法を常に測定し、その測定値に応じて必要な指示を工作機械に

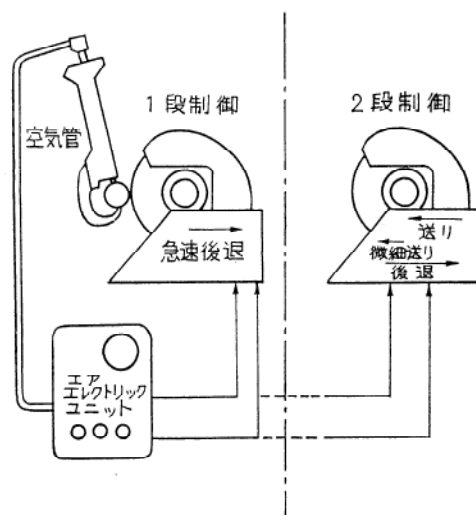


図12 円筒研削における自動定寸 (in-process)
2 段制御の例

砥石急速前進→粗研開始（送り）→第1段信号
（定寸前10~60 μ ）→精研開始（微細送り）→
第2段信号（定寸時）→スパークアウト研削→
タイムアップ→砥石急速後退

与え、図示寸法に仕上がった瞬間に加工を中止して所要寸法の工作物を得るものである。たとえば図の 2 段制御のものでは、研削加工中の工作物の直径を刻々に測定し、あらかじめ設定された定寸前 $10 \sim 60 \mu$ に達したとき、第 1 段の信号により砥石送り速度を荒研削より仕上研削にきりかえ、次いで定寸において第 2 段の信号によりスパークアウト研削、砥石後退が行なわれる。なお図中にエアエレクトリックユニットとあるのは、たとえば図 5、図 8 のようなものを考えればよい。

post-process (after the machine):

図13に一例を示すように、加工を終った工作物を直ちに測定し、その測定値が管理限界の外に出たときは、工

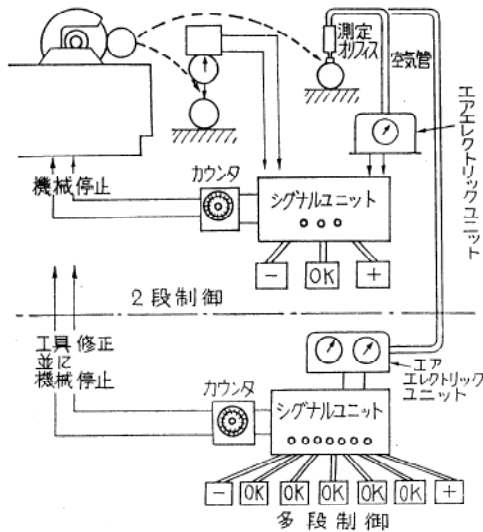


図13 円筒研削における自動定寸
(post-process)

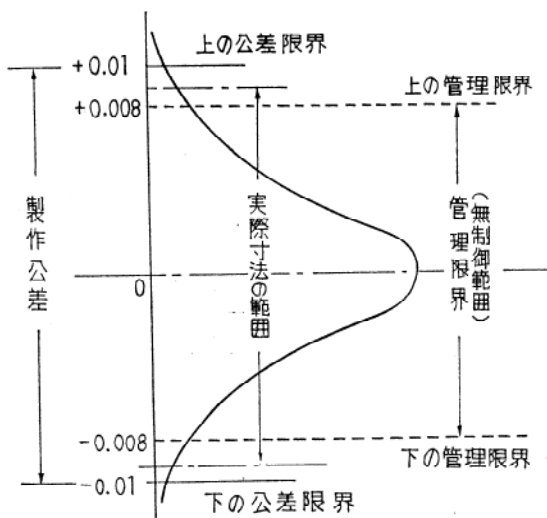


図14 製作公差と管理限界

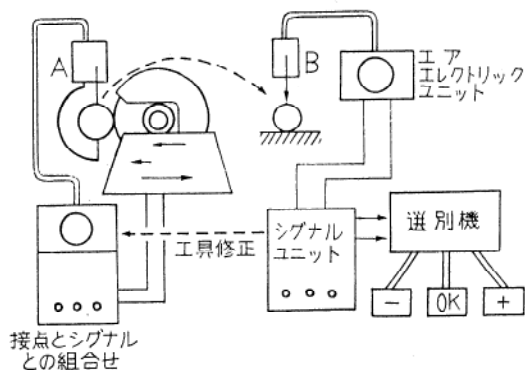


図15 円筒研削における自動定寸
(in-process と post-process の併用)

作機械の工具位置を修正する信号を発して、常に所要寸法の工作物を得るものである。たとえば図14の例のように製作公差（ $\pm 0.01\text{mm}$ ）に対し適当に管理限界（ $\pm 0.008\text{mm}$ ）を決めておき、加工直後の工作物寸法の測定を続けていったとき、この管理限界を越えるものが、あらかじめ設定した個数以上連続してでたとき、測定器より信号が出されて工作物寸法が管理限界内に入るよう工

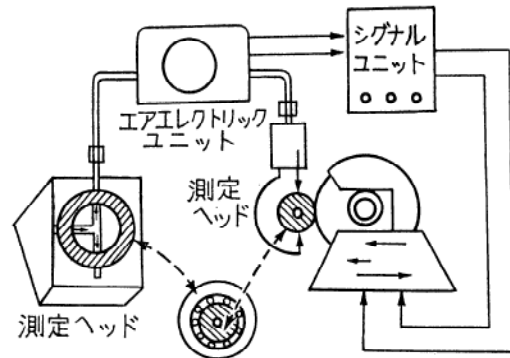


図16 円筒研削における自動定寸（あらかじめ設定された、はめあいに対し寸法を行なう。すきま精度 1μ の例がある）

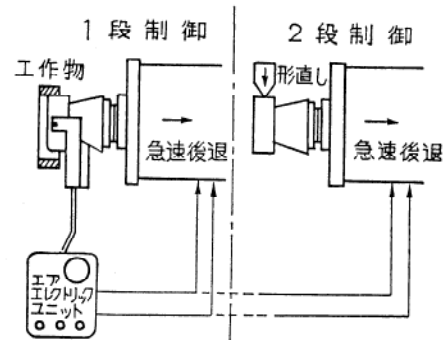


図17 内面研削における自動定寸 (in-process)
2段階制御の例

砥石急速前進→粗研開始→第1段階信号（定寸前 10μ 前後）→ダイヤモンドドレッサによる形直し→精研開始→第2段階信号（定寸時）→スパークアウト研削→タイムアップ→砥石急速後退

具位置が修正される。前の in-process に比較して便利な点が多いが、工作機械の精度が要求される。自動定寸装置の他の例を図15～図18に示す。

8. 自動選択組合せ組立

選択組合せならびに組立完成までを自動的に行なうものの一例を図19に示す。マッチング自動選別機ともいわれ、図のものは玉軸受の内外輪のみぞ径X、Yを同時測定し、そのとき（ $X-Y$ ）を自動的に計算しその結果に

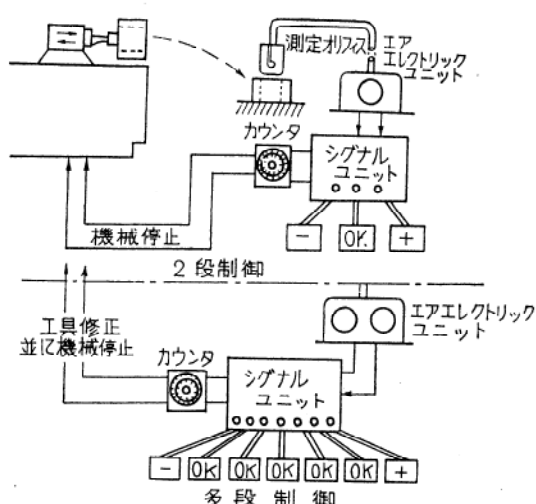


図18 内面研削における自動定寸 (post-process)

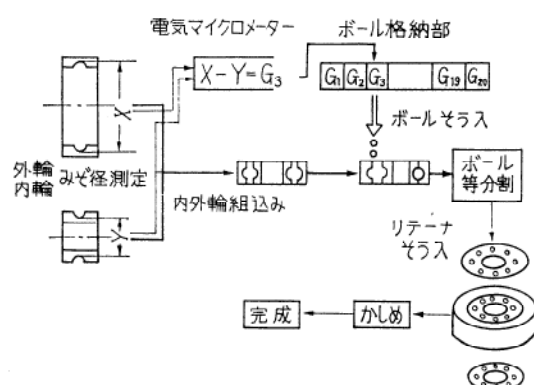


図19 玉軸受用 自動選択組合せ組立機

より適当な径のボール (すでに 1μ とびで20の級に自動

選別済み) を選択組合わせて、さらに自動組立、完成品の自動検査まで行なうものである。

9. 測定のデジタル化

測定結果のアナログ量をデジタル化して、数字により記録したり、または計算機械にデータとして入れることが最近盛んに行なわれるようになった。

そのためにはたとえば次のものの利用が考えられる。

- 1) 光電式顕微鏡 細かく目盛られた目盛線の位置を光電的に読みとる。
- 2) 光波干渉縞 光波干渉縞の移動数を光電的に数える (Link 社の製品)。レーザを用いたものもある (Cutler-Hammer 社の製品)。
- 3) モアレ縞 モアレ縞の移動数を光電的に数える。
- 4) 磁気格子 膨脹係数が鋼と等しい非磁性体上に磁粉を塗布し、この磁気帯板上に磁気的な目盛線を刻む。たとえば 40μ ピッチを読み取り信号とし、これを電氣的に4分割して 10μ の読み取りを行なうものがある (東京精密の製品)。
- 5) インダクトシン 2mm ピッチのジグザグ状コイルをプリント配線したスケールとスライダとを、 0.25mm のすきまをあけて向い合わせ、スライダ側のコイルに誘起された電圧をデジタル表示する (Olivetti 社の製品)。